

**PENGUNAAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA
AKIBAT PEMAKAIAN MESIN LAS LISTRIK**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan Teknik
Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

FEBRIANTO CAHYO NUGROHO

D 400 120 030

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGUNAAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA
AKIBAT PEMAKAIAAN MESIN LAS**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

FEBRIANTO CAHYO NUGROHO

D 400 120 030

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen pembimbing



Aris Budiman S.T.M.T

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGUNAAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA
AKIBAT PEMAKAIAAN MESIN LAS LISTRIK**

OLEH

Febrianto Cahyo Nugroho

D 400 120 030

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 12-06-2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Aris Budiman, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Agus Supardi, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Hasyim Asy'ari, S.T., M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)**

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sumarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682

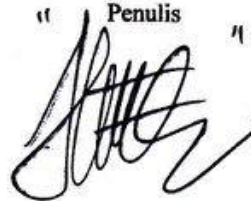
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 17-06-..... 2017

“ Penulis ”



FEBRIANTO CAHYO NUGROHO

D 400 120 030

PENGUNAAN FILTER PASIF UNTUK MEREDUKSI HARMONISA AKIBAT PEMAKAIAAN MESIN LAS LISTRIK

Abstrak

Harmonisa atau harmonik merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamentalnya. Harmonik disebabkan oleh beban-beban non linier. Beban-beban non linier dihasilkan dari alat-alat elektronik yang memiliki banyak komponen semi konduktor, seperti, mesin las, inti magnet pada trafo dan mesin – mesin berputar serta masih banyak lagi. Gelombang harmonik ini akan menumpang pada gelombang sinus murni (frekuensi fundamental) sehingga akan terbentuk cacat gelombang (distorsi) yang merupakan hasil penjumlahan gelombang sinus murni dengan gelombang harmonik. Prosentase antara total komponen harmonik dengan komponen fundamentalnya disebut *total harmonic distortion* (THD). Dari hasil pengamatan mesin las menimbulkan THD yang tinggi, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan elektronik lain dan menurunnya faktor daya. Oleh karena itu, peneliti tertarik melakukan penelitian terhadap THD yang ditimbulkan mesin las dan bertujuan menurunkan nilai THD tersebut dengan cara merancang sebuah filter pasif. Langkah pertama yang dapat dilakukan setelah mengetahui besar *total harmonic distortion* (THD) akibat sebuah pemakaian mesin las adalah dengan melakukan perhitungan untuk menentukan besar resistor, induktor dan kapasitor. Perakitan sebuah filter dilakukan setelah melakukan perhitungan terhadap nilai – nilai dari tiap komponen filter. Filter pasif dipasang secara paralel terhadap mesin las listrik dan sumber, kemudian diuji menggunakan *Power Quality Analyzer*. Dalam penelitian ini diperoleh nilai resistor sebesar 0.13Ω , induktor sebesar 0.012 H dan kapasitor sebesar $9.7 \times 10^{-5} \text{ F}$. *Total harmonic distortion* (THD) arus dan tegangan sebelum pemasangan filter sebesar 408.57% dan 6.94%. Setelah pemasangan filter *total harmonic distortion* (THD) arus dan tegangan sebesar 14.43% dan 4.12%. Terjadi penurunan *total harmonic distortion* (THD) arus dan tegangan sebesar 394.14% dan 2.82%. Filter pasif yang dipasang pada mesin las untuk mereduksi *total harmonic distortion* (THD) berfungsi dengan cukup baik.

Kata Kunci: Harmonik, Filter, THD

Abstract

Harmonic is a periodic distortion of the sine wave voltage, current or power waveform whose frequency is a multiple outside number one to the fundamental frequency. Harmonics are caused by non-linear loads. These expenses resulting from the non-linear electronic tools that have a lot of semi-conductor components, such as welding machines, magnetic core in the transformer and machinery - spinning machines and many more. The harmonic waves will ride on a pure sine wave (the fundamental frequency) so that the defects will form wave (distortion) which is the sum of pure sine wave with harmonic waves. The percentage of total harmonic component to fundamental component is called the total harmonic distortion (THD). From the observation of the welding machine caused high THD, thus causing damage to other electronic equipment and lower the power factor. Therefore, researches are interested in conducting research on the THD welded machine generated and aims to lower the value of the THD by designing a passive filter. The first step that can be done after knowing much the total harmonic distortion (THD) of a welding machine is to perform calculations to determine the amount of resistors, inductors and capacitors. Assembling a filter made after doing the calculations of the values of each components of the filter. Filters passive installed in parallel to the welding power and then in test using a power quality analyzer. In this study the values obtained at 0.13Ω resistor, inductor for is $0.011 \times 10^{-7} \text{ H}$ and a capacitor of $9.7 \times 10^{-5} \text{ F}$. Total harmonic distortion (THD) of current and voltage before installation of filters by 408.57% and 6.94%. After installation of the filter total harmonic distortion (THD) of current and voltage amounted to 14.43% and 4.12%. There was a decrease in total harmonic distortion (THD) of current and voltage amounted to 394.14% and 2.82%. Passive filter mounted on a welding machine to reduce total harmonic distortion (THD) works quite well.

Keywords: Harmonic, Filter, THD

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik semakin meningkat. Hampir semua kegiatan sehari-hari masyarakat tidak lepas dari peranan energi listrik. Peningkatan kebutuhan energi listrik juga dibarengi dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di bidang elektronika daya. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang elektronika daya menyebabkan semakin canggihnya peralatan-peralatan elektronik. Peralatan-peralatan elektronik yang semakin canggih berdampak pula dengan jenis-jenis beban listrik.

Beban listrik pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier merupakan beban yang impedansinya selalu konstan, sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu. Beban linier menghasilkan gelombang arus yang sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila beban linier diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir juga merupakan sinusoidal. Beberapa contoh beban linier yaitu lampu pijar, pemanas, resistor, dan lain-lain.

Selain beban linier terdapat pula beban non linier yaitu beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Beban non linier menghasilkan gelombang keluaran yang tidak sama dengan gelombang masukannya. Hal ini disebabkan karena adanya distorsi yang menyebabkan gelombang yang dihasilkan cacat. Distorsi gelombang tersebut disebut harmonisa/harmonik. Contoh beban-beban non linier antara lain mesin las listrik, motor listrik, komputer, dan alat-alat yang banyak menggunakan bahan-bahan semi konduktor.

IEEE (1992) menjelaskan bahwa harmonisa atau harmonik merupakan komponen sinusoidal dari sebuah gelombang periodis yang memiliki frekuensi kelipatan bulat dari fundamental frekuensi gelombang periodis tersebut. Bentuk gelombang harmonik yang cacat diakibatkan terjadinya superposisi antara gelombang frekuensi dasar dengan gelombang frekuensi harmonik.

Distorsi harmonik dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kerugian berupa penurunan kualitas sistem tenaga listrik. Contoh penurunan kualitas sistem tenaga listrik antara lain terjadi panas pada peralatan listrik, penurunan faktor daya, masalah resonansi dan lain-lain. Untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik maka distorsi harmonik harus ditekan seminimal mungkin. Renny Rakhmawati (2009) mengatakan salah satu cara untuk menekan harmonik adalah dengan menggunakan filter harmonik.

Filter harmonik dirancang dengan tujuan untuk mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi dari sebuah tegangan atau arus. Pemasangan filter harmonik dapat menekan penyebaran arus harmonisa keseluruh jaringan. Selain itu dengan pemasangan filter harmonik

pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem.

Secara garis besar filter harmonik dibagi menjadi dua jenis yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter aktif dirangkai dari komponen elektronika daya seperti *Insulated Gate Bipolar Junction Transistor* (IGBT) atau *Metal Oxid Field Effect Transistor* (MOSFET). Filter aktif merespon arus harmonisa relatif lebih bebas dari pengaruh kondisi pada sistem misalnya dari impedansi sistem. Pemasangan filter aktif dapat disusun seri maupun paralel pada sistem. Filter pasif terdiri dari kombinasi komponen R, L, dan C. Filter pasif dibagi menjadi empat menurut karakteristiknya yaitu *low-pass*, *high-pass*, *band-pass*, dan *tuned* filter. Sama hanya filter aktif, filter pasif juga dapat disusun seri maupun paralel pada sistem.

Pemasangan filter harmonik secara seri maupun paralel pada sistem mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Timothy (2001) menjelaskan kelebihan pemasangan filter harmonisa secara paralel pada sistem antara lain yaitu menggunakan impedansi yang rendah dan meningkatkan faktor daya. Namun kelemahan pemasangan filter secara paralel adalah membutuhkan kombinasi beberapa filter untuk mengurangi beberapa komponen harmonik. Sedangkan kelebihan pemasangan filter secara seri pada sistem antara lain yaitu tidak mendatangkan harmonik dari sumber lain dan meningkatkan faktor daya (Timothy, 2001). Namun kelemahan pemasangan filter secara seri adalah harus memikul arus beban penuh pada tegangan antar saluran

Berbagai penjelasan yang telah dipaparkan mengenai distorsi harmonik membuat peneliti merasa tertarik untuk melakukan penelitian terhadap permasalahan tersebut. Penelitian ini juga dilakukan guna memenuhi persyaratan kelulusan untuk tugas akhir. Sebagai bahan uji peneliti menggunakan mesin las listrik satu fasa yang ternyata memiliki nilai harmonik yang tinggi.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini menggunakan metodologi penulisan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literature merupakan proses dimana penulis mencari artikel-artikel terkait, jurnal-jurnal terkait, atau buku-buku yang berhubungan dengan tema sebagai referensi dan penunjang dalam penelitian.

2. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan cara mencatat arus dan tegangan harmonik awal mesin las listrik. Kemudian menghitung besar THD arus dan tegangan awal.

3. Analisa data awal

Setelah data arus dan tegangan harmonik awal diketahui, besar kapasitas filter dapat ditentukan. Kemudian filter dipasang ke sistem.

4. Pengujian

Filter yang telah dipasang ke sistem kemudian siap diuji kemampuannya untuk mereduksi arus dan tegangan harmonik las listrik.

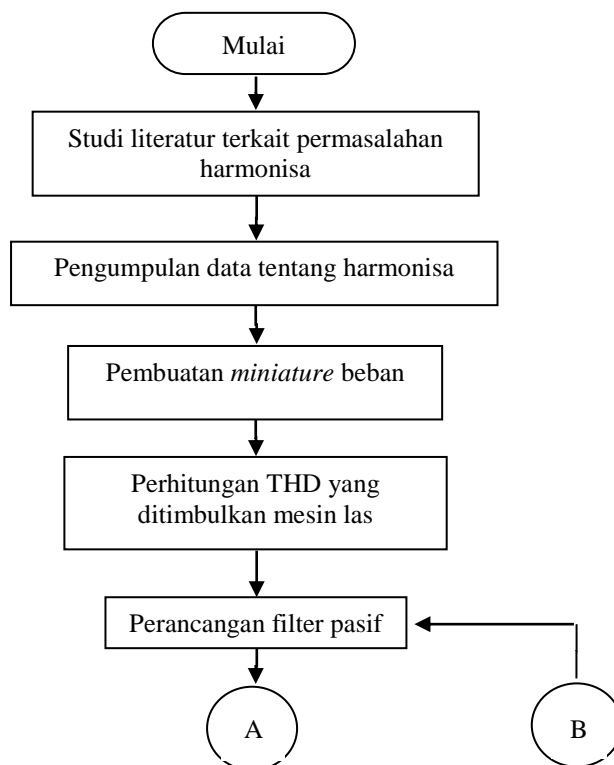
5. Analisa data akhir

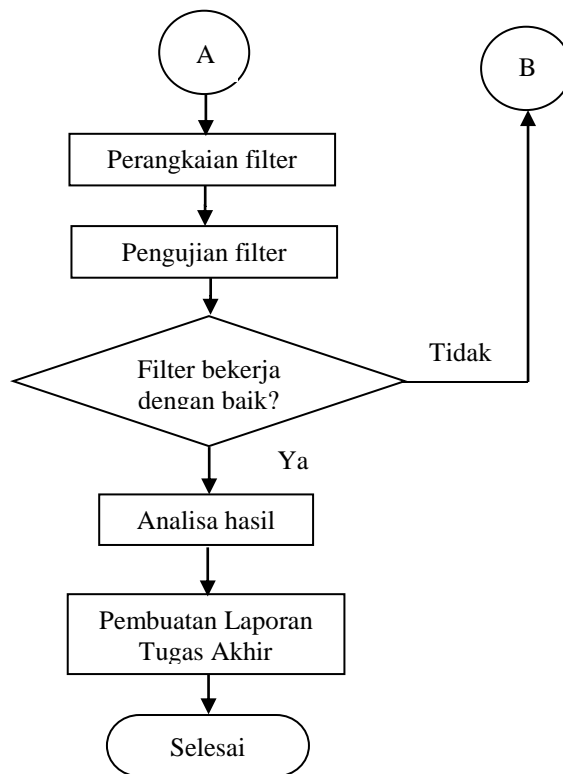
Menghitung besar penurunan arus dan tegangan harmonisa setelah pemasangan filter. Kemudian menghitung THD arus dan tegangan akhir.

2.2 Peralatan Pendukung

1. Mesin las listrik
2. *Power Quality Analyzer*
3. Filter R, L, C
4. MCB
5. Kabel
6. Obeng

2.3 Flowchart Penelitian



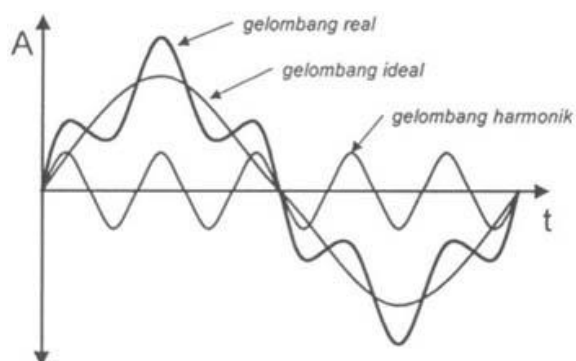


Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Harmonisa

Harmonisa atau harmonik merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamentalnya. Gelombang harmonik ini akan menumpang pada gelombang sinus murni (frekuensi fundamental) sehingga akan terbentuk cacat gelombang (distorsi) yang merupakan hasil penjumlahan gelombang sinus murni dengan gelombang harmonik (Julius, 2007).



Gambar 2. Visualisasi gelombang harmonik

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan nilai presentase antara total komponen gelombang harmonik dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar presentase THD (*total*

harmonic distortion) ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat gelombang harmonik yang terjadi pada arus maupun tegangan. Untuk menghitung nilai THD (*total harmonic distortion*) arus maupun tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

Untuk tegangan:

$$THD_v = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}{V_1^2}} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk arus:

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}} \dots\dots\dots(2)$$

Penelitian ini membahas tentang harmonik yang ditimbulkan oleh mesin las. Tabel 1 dan 2 menunjukkan besar THD arus dan tegangan sebelum dipasang filter.

Tabel 1. Besar THD tegangan sebelum pemasangan filter

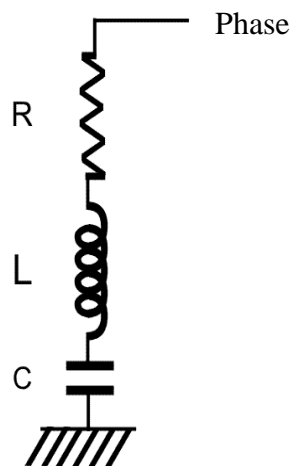
| Orde | Tegangan (V) | V ² |
|--------------|--------------|----------------|
| 1 | 203.1 | |
| 2 | 2.4 | 5.76 |
| 3 | 13.2 | 174.24 |
| 4 | 2.1 | 4.41 |
| 5 | 2.8 | 7.84 |
| 6 | 0.1 | 0.01 |
| 7 | 1.4 | 1.96 |
| 8 | 0.1 | 0.01 |
| 9 | 1.4 | 1.96 |
| 10 | 0.1 | 0.01 |
| 11 | 1.3 | 1.69 |
| 12 | 0.2 | 0.04 |
| 13 | 0.7 | 0.49 |
| 14 | 0.2 | 0.04 |
| 15 | 0.6 | 0.36 |
| 16 | 0.1 | 0.01 |
| 17 | 0.2 | 0.04 |
| 18 | 0.3 | 0.09 |
| 19 | 0.1 | 0.01 |
| 20 | 0.1 | 0.01 |
| ΣV^2 | | 198.98 |
| THD V (%) | | 6.94536 |

Tabel 2. Besar THD arus sebelum pemasangan filter

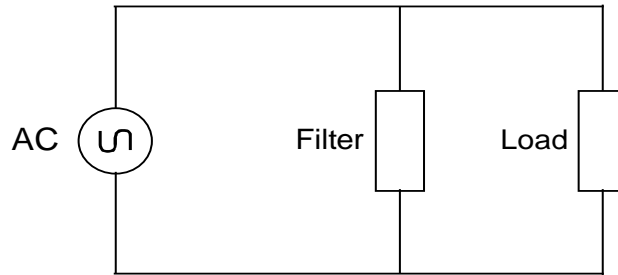
| Orde | Arus (A) | I^2 |
|--------------|----------|----------|
| 1 | 2.48 | |
| 2 | 0.13 | 0.0169 |
| 3 | 9.05 | 81.9025 |
| 4 | 0.32 | 0.1024 |
| 5 | 3.4 | 11.56 |
| 6 | 0.09 | 0.0081 |
| 7 | 1.76 | 3.0976 |
| 8 | 0.08 | 0.0064 |
| 9 | 1.92 | 3.6864 |
| 10 | 0.27 | 0.0729 |
| 11 | 1.17 | 1.3689 |
| 12 | 0.09 | 0.0081 |
| 13 | 0.28 | 0.0784 |
| 14 | 0.05 | 0.0025 |
| 15 | 0.5 | 0.25 |
| 16 | 0.58 | 0.3364 |
| 17 | 0.09 | 0.0081 |
| 18 | 0.24 | 0.0576 |
| 19 | 0.31 | 0.0961 |
| 20 | 0.08 | 0.0064 |
| ΣI^2 | | 102.6657 |
| THD I (%) | | 408.5649 |

3.2 Perancangan Filter

Filter harmonik dirancang untuk mereduksi harmonik yang ditimbulkan oleh sebuah alat yang menghasilkan harmonik atau THD (*total harmonic distortion*) yang tinggi. Besar THD (*total harmonic distortion*) yang masih ditoleransi adalah sebesar 5% dari arus ataupun tegangan fundamentalnya (IEE 519-1992). Filter dirancang dari rangkaian seri resistor, induktor dan kapasitor . Berikut gambar rangkaian dan cara menentukan besar R, L dan C untuk membuat sebuah filter.



Gambar 3. Rangkaian filter



Gambar 4. Rangkaian pemasangan filter

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan besar R (resistor), L (induktor) dan C (kapasitor) yang akan dipasang pada mesin las untuk mereduksi harmonik yang ditimbulkan.

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\
 &= 235 \times 13.08 \times 0.72 \\
 &= 2213.1 \text{ w}
 \end{aligned}$$

$$Q = \sqrt{\left[\frac{P}{\cos \theta}\right]^2 - P^2} - \sqrt{\left[\frac{P}{\sin \theta}\right]^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{\left[\frac{2213.1}{0.72}\right]^2 - 2213.1^2} - \sqrt{\left[\frac{2213.1}{0.98}\right]^2 - 2213.1^2}$$

$$Q = \sqrt{[3073.75]^2 - 4897811.6} - \sqrt{[2258.26]^2 - 4897811.6}$$

$$Q = \sqrt{9447939.06 - 4897811.6} - \sqrt{5099738.23 - 4897811.6}$$

$$Q = \sqrt{4550127.46} - \sqrt{201926.63}$$

$$Q = 1683.74 \text{ VAR}$$

$$\begin{aligned}
 X_C &= \frac{V^2}{Q} \\
 &= \frac{235^2}{1683.74} \\
 &= 32.7 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_L &= \frac{X_C}{n^2} \\
 &= \frac{32.7}{3^2} \\
 &= 3.63 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{2\pi f X_C} \\
 &= \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 32.7} \\
 &= \frac{1}{10267.8} \\
 &= 9.7 \times 10^{-5} \text{ F}
 \end{aligned}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$= \frac{3.63}{2 \times 3.14 \times 50}$$

$$= 0.0115605$$

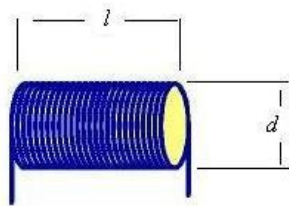
$$= 0.012 \text{ H}$$

$$R = \frac{n \cdot X_L}{q}$$

$$= \frac{3 \times 3.63}{80}$$

$$= 0.13 \Omega$$

Pembuatan induktor (L)



Rumus untuk menentukan jumlah lilitan induktor (L)

$$n = \sqrt{\frac{L(18d+40l)}{d}} \dots\dots\dots(3)$$

n = jumlah lilitan

L = nilai induktansi (μH)

d = diameter induktor (inchi)

l = panjang lilitan (inchi)

$$n = \sqrt{\frac{11000(18.1+40.1)}{1}}$$

$$n = \sqrt{11000.58}$$

$$n = \sqrt{638000}$$

$$n = 798.75 \text{ lilitan}$$

jadi, jumlah lilitan untuk membuat induktor sebesar 11 mili Henry adalah sebanyak 800 lilitan

Besar R, L, dan C

$$R = 0.13 \Omega$$

$$L = 0.012 \text{ H}$$

$$C = 9.7 \times 10^{-5} \text{ F}$$

3.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan perancangan filter tahap selanjutnya adalah pengujian. Tabel 3 dan 4 menunjukkan besar THD setelah pemasangan filter.

Tabel 3. Tabel THD tegangan setelah penambahan filter

| Orde | V | V ² |
|--------------|-------|----------------|
| 1 | 208.4 | |
| 2 | 0.5 | 0.25 |
| 3 | 7.9 | 62.41 |
| 4 | 0.4 | 0.16 |
| 5 | 2.8 | 7.84 |
| 6 | 0.1 | 0.01 |
| 7 | 1 | 1 |
| 8 | 0.2 | 0.04 |
| 9 | 0.9 | 0.81 |
| 10 | 0.3 | 0.09 |
| 11 | 0.7 | 0.49 |
| 12 | 0.1 | 0.01 |
| 13 | 0.3 | 0.09 |
| 14 | 0.2 | 0.04 |
| 15 | 0.7 | 0.49 |
| 16 | 0 | 0 |
| 17 | 0.3 | 0.09 |
| 18 | 0 | 0 |
| 19 | 0.2 | 0.04 |
| 20 | 0 | 0 |
| ΣV^2 | | 73.86 |
| THD V (%) | | 4.123889 |

Tabel 4. Tabel THD arus setelah penambahan filter

| Orde | I | I ² |
|------|------|----------------|
| 1 | 8.19 | |
| 2 | 0.06 | 0.0036 |
| 3 | 0.5 | 0.25 |
| 4 | 0.03 | 0.0009 |
| 5 | 0.73 | 0.5329 |
| 6 | 0.05 | 0.0025 |
| 7 | 0.45 | 0.2025 |
| 8 | 0 | 0 |
| 9 | 0.5 | 0.25 |
| 10 | 0.03 | 0.0009 |
| 11 | 0.14 | 0.0196 |
| 12 | 0.02 | 0.0004 |
| 13 | 0.23 | 0.0529 |
| 14 | 0.02 | 0.0004 |
| 15 | 0.2 | 0.04 |
| 16 | 0.14 | 0.0196 |

| | | |
|--------------|------|----------|
| 17 | 0.04 | 0.0016 |
| 18 | 0.01 | 0.0001 |
| 19 | 0.14 | 0.0196 |
| 20 | 0.03 | 0.0009 |
| ΣI^2 | | 1.3984 |
| THD I (%) | | 14.43882 |

Dari hasil dan data di atas diperoleh penurunan besar THD (*total harmonic distortion*) sebesar :

THD V (%) : 2.82

THD I (%) : 394.14

Pemasangan pasif pada mesin las dengan nilai R sebesar 0.13 Ω , L sebesar 0.012 H dan C sebesar $9.7 \times 10^{-5} \text{ F}$ membuahkan hasil yang cukup baik.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Nilai THD arus dan tegangan yang ditimbulkan mesin las sebelum pemasangan filter sebesar 408.57% dan 6.94%.
2. Untuk mengatasi THD yang tinggi pada mesin las perlu dilakukan pendesainan filter untuk mereduksi harmonik akibat pemakaian mesin las.
3. Filter pasif dirancang dari rangkaian seri resistor, induktor dan kapasitor.
4. Nilai resistor, induktor dan kapasitor sebesar
 $R = 0.13 \Omega$
 $L = 0.012 \text{ H}$
 $C = 9.7 \times 10^{-5} \text{ F}$
5. Filter pasif dipasang paralel terhadap beban dan sumber
6. Nilai THD arus dan tegangan yang ditimbulkan mesin las setelah pemasangan filter sebesar 14.43% dan 4.12%.
7. Penurunan nilai THD setelah pemasangan filter
 THD V : 2.82%
 THD I : 394.14 %

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan puji syukur kehadiran ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan ridhonya dan tak lupa solawat serta salam kepada Nabi MUHAMMAD SAW sehingga laporan penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang selalu membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut :

- 1) Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberi motivasi sehingga penulis bisa seperti ini.

- 2) Bapak Aris Budiman, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 3) Bapak Umar S.T.,M.T selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 4) Bapak Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 5) Teman – teman Teknik Elektro angkatan 2012 yaitu Surya F.P, Cahyo Kumolo, Saleh Syahmi, Dio P. N, dan semua temen – temen Teknik Elektro angkatan 2012.
- 6) Teman – teman yang membantu penulisan laporan tugas akhir ini yaitu Surya F.P, Cahyo Kumolo, Saleh Syahmi, Dio P.N dan Maharsi Puri Huntari.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, A., Suryono., & M. Zaenal Efendi. (Tanpa Tahun). *Penggunaan Filter Pasif Untuk Mereduksi Harmonisa Akibat Pemakaian Beban Non Linier*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Das, J. C. (1934). *Power System Harmonics and Passive Filter Design*. New Jersey: Jhon Wiley and Sons.
- Dugan, McGranagham Beaty. (2004). *Electrical Power System Quality*. USA: McGrow Hill.
- Ferracci, Ph. (2001). *Power Quality*. Cahier Technique Merlin Gerin No: 199.
- Kurniawan, E., & Yusra, S. (2012). *Perancangan Filter Pasif Untuk Mengatasi Harmonisa Pada Gardu Penyearahan Pusat Listrik Aliran Atas – PT KAI Commuter Jobodetabek Indonesia*. Institut Teknologi Bandung.
- Prasetijo, H. (2012). *Analisa Perancangan Filter Pasif Untuk Meredam Harmonik Pada Instalasi Beban Nonlinier*. Universitas Jenderal Sudirman Purbalingga.
- Putro, A. P., & Agus Sofwan (2015). *Analisa Penanggulangan Gangguan Harmonik (Thd) Dengan Filter Aktif Berbasis Mikrokontroller Terhadap Beban Mesin Welding*. Jakarta.
- Rashid, M. H. 2004. *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*, 3rd. Prentice-hall International.
- Sunanda, W., & Yuli, A. R. (2012). *Aplikasi Filter Pasif Sebagai Pereduksi Harmonik Pada Inverter Tiga Fase*. Bangka Belitung.